

Anaesthetist 2020 · 69:463–469

<https://doi.org/10.1007/s00101-020-00783-w>

Online publiziert: 12. Mai 2020

© Springer Medizin Verlag GmbH, ein Teil von Springer Nature 2020

T. Bein<sup>1</sup> · C. Karagiannidis<sup>2</sup> · M. Gründling<sup>3</sup> · M. Quintel<sup>4</sup><sup>1</sup> Fakultät für Medizin, Universität Regensburg, Regensburg, Deutschland<sup>2</sup> Abteilung für Pneumologie und Intensivmedizin, Klinikum Köln-Merheim, ARDS und ECMO Center, Kliniken der Stadt Köln, Witten/Herdecke Universität, Köln, Deutschland<sup>3</sup> Klinik für Anästhesiologie, Anästhesie, Intensiv-, Notfall- und Schmerzmedizin, Universitätsmedizin Greifswald, Greifswald, Deutschland<sup>4</sup> Klinik für Anästhesiologie, Universitätsmedizin Göttingen, Göttingen, Deutschland

## Neue intensivmedizinische Herausforderungen durch Klimawandel und globale Erderwärmung

### Klimawandel, globale Erderwärmung und Gesundheit

Während der letzten 5 Jahrzehnte wurden ständig steigende Mengen von Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) und anderen Treibhausgasen durch menschliche Aktivitäten freigesetzt, die – heutzutage unbestritten – mit einem erheblichen Anteil zum Klimawechsel mit globaler Erderwärmung beitragen. Seit der vorindustriellen Zeit (ca. 1850) hat sich die Erde um etwa 0,85 °C erwärmt. Die letzte Dekade bis 2010 wies eine höhere Durchschnittstemperatur auf als jede Dekade vorher [1]. Unter der Voraussetzung, dass die Erderwärmung voranschreitet und in den nächsten Jahrzehnten ein (ungebremseter) Anstieg der mittleren Temperatur, begleitet von regionalen und saisonalen Hitzewellen und/oder Naturkatastrophen (Überschwemmungen, großflächige Waldbrände, Dürreperioden) stattfindet, erwartet die Weltgesundheitsorganisation (WHO) 250.000 zusätzliche Todesfälle, die als Folgen des Klimawandels einzuordnen sind [2]. Es überrascht wenig, dass ein erhöhtes Risiko für klimawandelassoziierte Erkrankungen- und Todesfälle besonders Personen trifft, die in Küsten- oder Metropolregionen leben, Kinder und alte Menschen, chronisch kranke Personen, und – „last but not least“ – Bevölkerungsgruppen aus „Low-income“-Staaten, in denen nur ein-

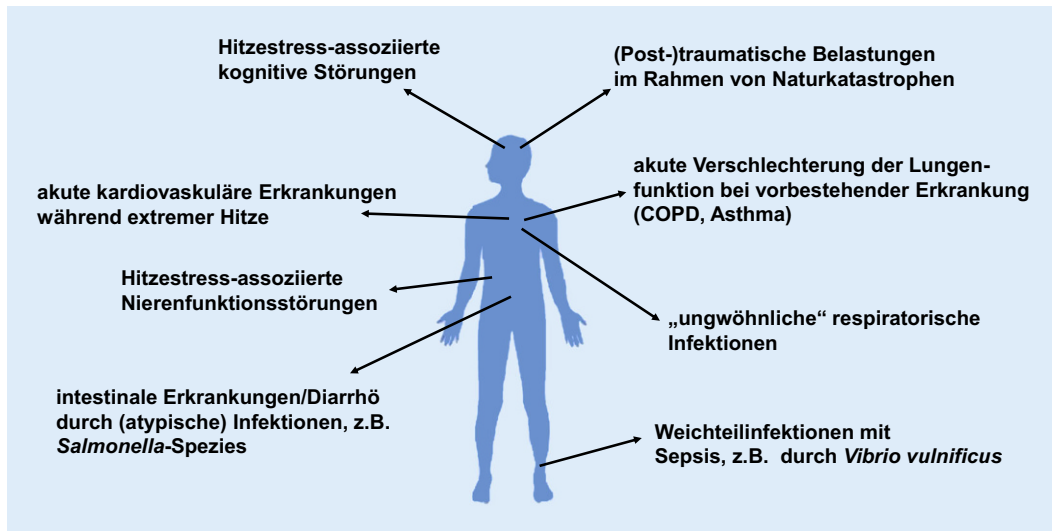
geschränkte medizinische Versorgungsstrukturen bestehen.

Die Folgen des Klimawandels für das Auftreten neuer oder zusätzlicher Erkrankungen wurden anhand bereits bestehender Daten, z. B. im Hinblick auf ein verändertes Auftreten von Infektionskrankheiten, berechnet [3]. Im Rahmen von Hitzewellen und Naturkatastrophen beziehen sich diese Erkrankungsmuster auf das respiratorische System, auf Nierenfunktionsstörungen, auf neurologisch-kognitive Krankheiten, auf kardiovaskuläre Störungen, sowie auf – für europäische Länder bislang ungewöhnliche – Infektionskrankheiten (▣ **Abb. 1**). Im Folgenden werden die wesentlichen Studienergebnisse zu klimawandelassoziierten Erkrankungen vorgestellt und deren intensivmedizinische Relevanz – v. a. auf dem Boden der Extrapolation für die nahe Zukunft – diskutiert. In der Zusammenschau werden Konsequenzen für die strukturelle, organisatorische, aber auch fachliche Ausrichtung der Intensivmedizin erkennbar, die – erwartbar – zur Bewältigung der durch die Erderwärmung entstehenden Herausforderungen erforderlich sein werden. Diese können im Rahmen dieses Beitrags als Grundlage für eine vertiefte Diskussion nur skizziert werden.

### „Lungs in a warming world“ – respiratorische Erkrankungen

Der Einfluss von Klimawandel und Erderwärmung auf das respiratorische System ist bisher nur im Ansatz untersucht, und erste epidemiologische Daten lassen erwarten, dass dieser Einfluss erheblich ist: „Lungs in a warming world“ [4] werden anfälliger für noxenasoziierte inflammatorische Reaktionen, insbesondere bei vorbestehenden chronischen Lungenerkrankungen (chronisch obstruktive Lungenerkrankung [COPD], Asthma). Zu solchen Noxen gehören sowohl erhöhte Konzentrationen von CO<sub>2</sub> oder Treibhausgasen in der Luft, Ozon (O<sub>3</sub>), Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>) als auch erhöhte Feinstaubbelastungen (z. B. im Rahmen großflächiger Brände), Hitzewellen, allgemeine Luftverschmutzung oder extreme Trockenheit. Alle diese Noxen können eine proinflammatorische Reaktion (vermutlich über eine Aktivierung der Toll-like-Rezeptoren) sowie eine Erhöhung des Atemwegswiderstands bei vorgeschädigten Lungen (über eine Aktivierung der „C-fiber“-Nerven) hervorrufen, mit gesteigerter Hyperreagibilität der Atemwege [5].

Mehrere in den letzten Jahren veröffentlichte epidemiologische Studien berichten eine exzessive Zunahme stationärer Aufnahmen von Patienten mit respiratorischen Störungen im Rahmen



**Abb. 1** ◀ Klimawandel-assoziierte Erkrankungen mit Bedeutung für die Intensivmedizin. COPD chronisch obstruktive Lungenerkrankung

von Hitzewellen: Während der Hitzeperiode in Portugal 2006 wurde für jede Erhöhung der mittleren Temperatur um 1 °C eine Steigerung der Letalität von COPD-Patienten um 5,7% beobachtet; diese Risikoerhöhung betraf insbesondere Patienten im Alter über 75 Jahre [6]. Eine Analyse der respiratorisch bedingten stationären Aufnahmen während der Sommer 1991–2004 in New York City ergab in ähnlicher Weise eine signifikante Erhöhung in Abhängigkeit von jeder 1-Grad-Erhöhung [7]. Aus einer systematischen Analyse der bisherigen Studien und einer daraus abgeleiteten Extrapolation für die nächsten Jahrzehnte wird insbesondere auf die Bedeutung von klimabedingt zunehmenden und bisher als „ungewöhnlich“ eingestuften Infektionserkrankungen des respiratorischen Systems hingewiesen: sowohl virale Infektionen (Hanta-, Influenza-, Ebola-, West-Nil-, Dengue- und respiratorisches Synzytialvirus) als auch fungal hervorgerufene Infektionen (Aspergillose, Kokzidioidomykose) wurden während Hitzeperioden in den industrialisierten Ländern vermehrt identifiziert [8]. Am negativen Einfluss der klimaassoziierten Änderung der Luftqualität auf die Vulnerabilität des respiratorischen Systems der Menschen in Europa besteht kein Zweifel [9]. Die Bedeutung der skizzierten Veränderungen für die Intensivmedizin ist derzeit noch nicht völlig klar. Es ist jedoch davon auszugehen, dass sie den Bedarf an intensivmedizinischen Kapazitäten sowohl lang- als

auch kurzfristig und akut (akute Hitzewellen oder Naturkatastrophen) spürbar vergrößern wird. Darüber hinaus werden sich Intensivmediziner zukünftig in ihrem Ausbildungscurriculum dem Thema „klimaassoziierte Erkrankungen“ widmen müssen, um sich spezifische, bislang nicht oder wenig relevante Erkenntnisse, z. B. zu ungewöhnlichen Infektionserkrankungen, anzueignen.

### Kardiovaskuläre Erkrankungen im Gefolge des Klimawandels

In einigen Untersuchungen wurden die Auswirkungen von globaler Erderwärmung und Klimawandel auf die kardiovaskuläre Gesundheit skizziert [10, 11]. Als plausible pathophysiologische Mechanismen zwischen Hitzebelastung und Herzinfarkten werden überwiegend eine generelle Vasodilatation, die gesteigerte Expression lokaler und systemischer Entzündungsmediatoren (Interleukine), eine erhöhte Hämoviskosität sowie eine Aktivierung der Blutgerinnung angesehen [12]. In einer Übersicht bisheriger Daten [11] wurden die Ergebnisse zur Verfügung stehender epidemiologischer Studien zusammengefasst. Hitzewellen waren mit einem erhöhten Aufkommen akuter kardialer Erkrankungen (z. B. kardiale Dekompensation, Herzinfarkt) assoziiert, was zu gestiegenen Zahlen von Notaufnahmebesuchen, stationären Aufnahmen und vermutlich konsekutiv auch Intensivbehandlungen führte.

In einer großen europäischen epidemiologischen Studie (*EuroHeat* [13]) wurden meteorologische Daten von 9 repräsentativen europäischen Metropolen während der Sommermonate (1990–2004) mit Erkrankungen, die durch die jeweiligen statistischen Ämter erfasst worden waren, verglichen. Obwohl die Hitzewellen geografisch sehr unterschiedlich ausfielen, zeigte sich generell ein hitzebedingter Anstieg der Letalität zwischen 7,6% in München bis zu 33,6% in Mailand mit einem Anteil kardiovaskulär bedingter Todesfälle von ca. 50%. In einer jüngst beschriebenen Projektion für die Region Augsburg bezüglich zukünftig erwartbarer temperaturbedingter Herzinfarkte [12] wurden 2 Klimaszenarien herangezogen. Für das „mildere“ Szenario (weitere Erderwärmung bis zu 2 °C) wurde eine mäßige Steigerung der Herzinfarkttrate in dieser Region berechnet, während diese Steigerung bei einem mittleren Temperaturanstieg bis zu 3 °C deutlich höher ausfallen soll.

### Nierenschädigung und Erderwärmung

Hitzewellen sind mit einer Belastung der Nierenfunktion und -leistung verknüpft: Dehydratation und Volumenverlust, ggf. begleitet von kardiovaskulären Problemen, stellen – insbesondere bei älteren Menschen mit multiplen Komorbiditäten – ein Risiko der Beeinträchtigung oder gar des Verlusts der Nierenfunktion

T. Bein · C. Karagiannidis · M. Gründling · M. Quintel

## Neue intensivmedizinische Herausforderungen durch Klimawandel und globale Erderwärmung

### Zusammenfassung

**Hintergrund.** In den letzten 5 Dekaden wird ein kontinuierlicher Anstieg der globalen mittleren Temperatur registriert; darüber hinaus häufen sich Naturkatastrophen (z. B. schwere Stürme, Überflutungen, Dürren und großflächige Brände). Die Auswirkungen von globaler Erderwärmung und Klimawandel auf die Gesundheit betreffen die Zunahme von respiratorischen, kardiovaskulären, renalen und kognitiv-psychischen Erkrankungen. Des Weiteren lässt sich auch in Europa eine Veränderung der Häufigkeit und des Musters von Infektionskrankheiten beobachten.

**Material und Methoden.** In diesem Beitrag werden die wesentlichen Studien präsentiert, die sich mit klimawandelassoziierten Erkrankungen befassen, mit besonderem Blick auf solche Erkrankungen, die eine Herausforderung für die Intensivmedizin darstellen.

**Ergebnisse.** Aktuelle epidemiologische Daten und statistische Extrapolationen legen nahe, dass Erkrankungen im Gefolge des Klimawandels (akute infektionsbedingte respiratorische und intestinale Erkrankungen, Exazerbationen bei vorbestehender Lungenschädigung, hitzebedingte Dehydratation, zerebrale Insulte und Myokardinfarkte) für die Intensivmedizin von Relevanz sind. Ein besonderes Augenmerk liegt auf einer signifikanten Zunahme von akuten Nierenschädigungen während Hitzewellen. Ein bisher nichtgekanntes „Muster“ der Infektionskrankheiten erfordert neue Kenntnisse und gezieltes Management. In einigen Studien wurden nach Hitzewellen und Naturkatastrophen anhaltende psychische Beeinträchtigungen der Betroffenen, z. B. posttraumatische Belastungsstörungen, registriert.

**Schlussfolgerungen.** Die Intensivmedizin muss sich den Herausforderungen durch globale Erderwärmung und Klimawandel stellen. Sowohl langsame, aber kontinuierliche (Anstieg der Temperatur) als auch akute Veränderungen (Hitzewellen, Naturkatastrophen) werden den steigenden Bedarf intensivmedizinischer Leistungen (z. B. auch eine steigende Nachfrage nach Nierenersatzverfahren) induzieren. Intensivmediziner werden sich mit der Diagnostik und dem Management von klimawandelassoziierten Erkrankungen beschäftigen müssen. Eine Initiative der betroffenen Fachgesellschaften ist begrüßenswert.

### Schlüsselwörter

Lungenerkrankungen · Kardiovaskuläre Erkrankungen · Nierenerkrankungen · Infektionskrankheiten · Psychische Gesundheit

## New challenges for intensive care medicine due to climate change and global warming

### Abstract

**Background.** In the last five decades a continuous increase in the average global temperature has been recorded. Furthermore, natural disasters (e.g. heat waves, severe storms, floods and large forest fires) are becoming more frequent. The impact of global warming and climate change on health involves an increase in respiratory, cardiovascular, renal and cognitive mental diseases. Furthermore, a change in the frequency and patterns of infectious diseases can also be observed in Europe.

**Material and methods.** This article presents the most important studies that investigated diseases associated with the climate change, with special reference to those that represent a challenge for intensive care medicine.

**Results.** Currently available epidemiological data and statistical extrapolations indicate that diseases resulting from the climate change (acute infection-related respiratory and intestinal diseases, exacerbation of pre-existing pulmonary lesions, heat-related dehydration, cerebral insults and myocardial infarction) are relevant for intensive care medicine. Particular emphasis is placed on a significant increase in acute kidney damage during heat waves. A previously unknown pattern of infectious diseases necessitates new knowledge and targeted management. In some studies, persisting mental impairments were registered during heat waves and natural disasters, e.g. posttraumatic stress disorder.

**Conclusion.** Intensive care medicine must be prepared for the challenges due to global

warming and climate change. Slow but continuous changes (e.g. rise in temperature) as well as acute changes (e.g. heat waves and natural disasters) will induce an increased need for intensive medical care services (e.g. an increase in the need for renal replacement procedures). Intensive care physicians will need to be familiar with the diagnostics and management of diseases associated with the climate change. An initiative of the specialist societies involved would be welcomed.

### Keywords

Lung diseases · Cardiovascular diseases · Kidney diseases · Infectious diseases · Mental health

dar. Hier hat sich der Begriff „heat-stress nephropathy“ eingebürgert [14], dessen Spektrum von passagerer Einschränkung der Nierenfunktion bis zum akuten Nierenversagen reicht. So wurde in Zentralamerika jüngst eine Epidemie von Nierenerkrankungen beschrieben, die zunächst unerklärlich war. Bei näherer Analyse zeigte sich, dass ausschließlich Patienten mit hitzebedingter Dehydratati-

on betroffen waren [15]. Ähnliche Daten wurden aus den Vereinigten Staaten (California Central Valley) sowie aus Indien und Sri Lanka gemeldet; dort kam es zu einem Versorgungsengpass von Dialysegeräten (zusammengefasst in [14]). Für Europa liegen bisher keine belastbaren Daten vor, es ist allerdings davon auszugehen, dass bei extremen, aber nicht mehr ungewöhnlichen Hitzewellen

auch hier mit einer erhöhten Rate von Nierenversagen zu rechnen ist [16]. Für die Intensivmedizin ist die Schlussfolgerung zu ziehen, dass auch in Deutschland mit einem saisonal bedingten höheren „Ad-hoc“-Bedarf an Dialyse- und/oder Hämofiltrationsgeräten sowie den erforderlichen Behandlungsmöglichkeiten zu rechnen ist.

## Veränderung und Zunahme von Infektionserkrankungen

Übertragbarkeit, Virulenz und pathogene Potenz von Bakterien, Viren oder Pilzen sind sehr stark von Umgebungsbedingungen abhängig. Hierzu gehören u. a. die Umgebungs-, die Wassertemperatur, die Luftfeuchtigkeit und die Disposition der „Zwischenwirte“ (zumeist Tiere). Auch eine wärmebedingte genetische Adaptation des Menschen mit Veränderung der Abwehr gegenüber pathologischen Erregern wird diskutiert. Während in den letzten Jahrzehnten in den klassischen dafür exponierten Hitzezonen eine Zunahme bekannter Infektionserkrankungen (ausgelöst durch Zika-, Ebola-, Gelbfieber-, Dengue-Virus) beobachtet wurde, bereitet das (bisher vereinzelte) Auftreten solcher Erkrankungen in Europa wachsende Sorge. Zunächst wurde der zunehmende globale Tourismus dafür verantwortlich gemacht. Allerdings zeigt die jüngste Übertragung einer West-Nil-Virus-Erkrankung (Meningoencephalitis) durch einen Mosquito in Deutschland bei einem Patienten, dessen Anamnese keinen Auslandsbesuch beinhaltete [17], dass auch in Deutschland mit einem veränderten (und steigenden) Auftreten von Infektionskrankheiten gerechnet werden muss.

In Kanada, einem Land, in dem der Klimawandel besonders deutlich zu spüren ist, wird regelmäßig über das Auftreten von Lyme-Borreliose oder West-Nil-Virus-Erkrankungen berichtet [18]. In den Jahren 2012–2016 wurde ein massiver Anstieg von *Borrelia*-Erkrankungen, hervorgerufen durch die Spirochäte *Borrelia burgdorferi* beobachtet [19], da der Zwischenwirt, die Zeckenart *Ixodes scapularis* (in Mitteleuropa *Ixodes ricinus*) durch den Klimawandel beste Reproduktionsbedingungen vorfindet. Im Rahmen der globalen Erwärmung wurde eine zunehmende Verbreitung von *Vibrio-vulnificus*-Infektionen an Nord- und Ostsee beobachtet. Besonders die Ostsee bietet mit ihrem geringen Salzgehalt und einem sich sehr schnell erwärmenden Gewässer den idealen Nährboden für Vibrionen [20]. Während an der deutschen Ostseeküste von 2003 bis 2017 insgesamt

26 Fälle gemeldet wurden, registrierten die Gesundheitsämter in den „heißen“ Jahren 2018/2019 allein 25 Erkrankungen (persönliche Mitteilung M. Gründling). Patienten mit chronischen Leber- und Nierenerkrankungen, Diabetes mellitus, Tumorerkrankungen und Immunsuppression sind besonders gefährdet, beim Baden in Nord- oder Ostsee durch das Eindringen von *V. vulnificus*, z. B. in die vorgeschädigte Haut, schwerste Haut- und Weichteilinfektionen bis hin zu einer Sepsis zu erleiden. Das akut lebensbedrohliche, bisher kaum bekannte Krankheitsbild (Letalität etwa 50 %) verlangt die sofortige Herdsanierung, Antibiotikatherapie und organunterstützende intensivmedizinische Maßnahmen. Die Zunahme der Erkrankung macht fundierte Kenntnisse in der Diagnostik und Behandlung durch Ärzte nicht nur in den Küstenregionen notwendig.

Bei unverändertem Temperaturanstieg wird bis 2030 nach statistikbasierten Projektionen ein Anstieg infektionsbedingter intestinaler Erkrankungen (v. a. Diarrhöen) um ca. 10 % erwartet; insbesondere Kinder aus industrieschwachen Ländern werden betroffen sein. Das Risiko für Plasmodieninfektionen (Malaria) soll um 3–5 % ansteigen [8]. Ob durch die Wärmeentwicklung auch klassisch-tropische Erkrankungen (wie z. B. Malaria) in Zentraleuropa ohne Tourismustransmission oder Migration vermehrt auftreten werden, bleibt bislang spekulativ. Der erhebliche Migranteneinstrom in zentraleuropäische Länder seit 2015 war ja nicht nur durch politische Krisen, sondern auch durch Naturkatastrophen bedingt [21]; er konfrontiert seither bereits viele (Intensiv-)Mediziner mit neuen Krankheitsbildern. In jedem Fall wird für die Intensivmedizin der Erwerb fundierter Kenntnisse in Diagnostik und Therapie von bis dato „exotischen“ Infektionserkrankungen unumgänglich sein. Für die Frequenz von Salmonellen (ausgelöst durch Bakterien der *Salmonella*-Spezies), die durch Eier und Schweinefleisch übertragen werden und durch schwere Diarrhöen gekennzeichnet sind, konnte ein klarer Zusammenhang mit der Umgebungstemperatur aufgezeigt werden: Ein Anstieg der mittleren Temperatur um 1 °C war von einer

höheren Inzidenz der Salmonellen in einer Größenordnung von 5–10 % gekennzeichnet [22]. Mittlerweile wird etwa ein Drittel der Salmonellen in England, Polen, Tschechien, der Schweiz und den Niederlanden dem Klimawandel zugesprochen [23].

## Hitzewellen, Naturkatastrophen und psychische Gesundheit

In einer kürzlich erschienenen Metaanalyse wurden die bisher veröffentlichten Studien zum Zusammenhang zwischen extremen Wetterverhältnissen und psychischer Belastung von Menschen in Entwicklungsländern untersucht [24]. Es fanden sich – je nach Studie und Untersuchungsland – posttraumatische Belastungsstörungen (PTBS) mit einer Inzidenz von 0,7 bis 52,6 %, die auf extreme Wetterbedingungen (Naturkatastrophen, Hitzewellen) zurückzuführen waren. Nach dem Hurrikan *Sandy*, der 2012 über New York hinweg zog, wurde in einer Untersuchung der New Yorker Bevölkerung eine über ein Jahr anhaltende Erhöhung der PTSD-Werte gefunden [25]. Für die Hitzewellen und Naturkatastrophen, die Europa in den letzten Jahren erleben musste, liegen noch keine verlässlichen Daten vor. Es ist zu erwarten, dass auch in Europa psychische und kognitive Beeinträchtigungen im Rahmen des Klimawandels häufiger auftreten und damit zu einer höheren Inanspruchnahme (intensiv-)medizinischer Leistungen führen werden.

## Konsequenzen für die Intensivmedizin

Die beschriebenen Einflüsse von Klimawandel und Erderwärmung auf die Gesundheit des Menschen lassen erhebliche Konsequenzen für die Intensivmedizin erwarten (■ Tab. 1): schwere Erkrankungen des kardialen oder respiratorischen Systems, neue, teilweise lebensbedrohliche Infektionen und die Zunahme von Nierenversagen können mit ausgeprägten Funktionsstörungen oder dem Versagen von Organen und Organsystemen einhergehen – die Organersatztherapie (Beatmung, Herz-

**Tab. 1** Studien zur Assoziation zwischen Klimawandel und für die Intensivmedizin relevanten Erkrankungen

Betroffenes Organ-system/Ursache	Klimaassoziation	Befunde, Studien, Übersichten
Respiratorisch	Anstieg der mittleren Temperatur um 1 °C	Signifikanter Anstieg der Letalität und Morbidität pro 1 °C-Anstieg bei COPD und Asthma [6]
	Treibhausgase, Luftverschmutzung	Virusinfektionen ↑, Pilzinfektionen ↑ [8]
Kardiovaskulär	Hitzewellen in Großstädten	EuroHeat: hitzebedingter Anstieg der Letalität zwischen 7,6 % (München) und 33,6 % (Mailand), davon ca. 50 % kardiovaskulär bedingt [13]
Renal	Hitzewellen	Epidemie von akutem Nierenversagen in Zentralamerika, ausschließlich durch Dehydratation bedingt [15]
Infektionserkrankungen	Globale Erwärmung	Massiver Anstieg von Borreliosen in Kanada [19], Zunahme von Infektionen mit <i>Vibrio vulnificus</i> [20], Anstieg der Salmonellosen um ca. ein Drittel in Europa [22]
Psychische und kognitive Belastung	Naturkatastrophen, Hitzewellen	Auftreten von PTBS zwischen 0,7 und 52,6 % in Entwicklungsländern [24]
	Hurrikan Sandy 2012, New York	Anhaltende erhöhte PTBS-Befunde in der New Yorker Bevölkerung [25]

COPD „chronic obstructive pulmonary disease“ (chronisch obstruktive Lungenerkrankung), PTBS posttraumatische Belastungsstörung

**Tab. 2** Lösungsansätze für intensivmedizinische Herausforderungen im Kontext von Erderwärmung und Klimawandel

Herausforderung	Lösungsansatz
Erhöhte Frequentierung von präklinischer Notfallversorgung und Notaufnahmen durch klimaassoziierte Erkrankungen	Ausbildung und Vorbereitung des Personals im Rettungswesen und von Notaufnahmen, Bereitstellung entsprechender Strukturen
Anstieg der Zahl kritisch kranker Patienten im Gefolge von Hitzewellen oder Luftverschmutzung	Bereitstellung einer höheren Kapazität von Intensivbetten, v. a. in Küstenregionen und „megacities“
Massenanfall kritisch kranker Patienten im Gefolge von rapiden Wetterumschlägen, Überschwemmungen, Waldbränden oder anderen Naturkatastrophen	Bereitstellung einer „Reserve“ von Intensivbetten und Personal, die im Bedarfsfall akut aktiviert werden kann
Zunahme von Infektionen, besonders mit „ungewöhnlichem“ Charakter	1. Bereitstellung von Isolationsmöglichkeiten 2. Erweiterung der Kenntnisse des Intensivpersonals bezüglich des Managements „ungewöhnlicher“ Infektionen
Anstieg der Zahl von Patienten mit akuter Nierenschädigung während Hitzewellen	Bereitstellung einer ausreichenden Zahl von Nierenersatzverfahren
Gefahr der Einschränkung der Energieversorgung von Kliniken bei Naturkatastrophen	Adäquates Vorsorgemanagement
Erhöhter Bedarf an Nachsorge, Rehabilitation, insbesondere im Rahmen posttraumatischer Belastungsstörungen	Ausbau entsprechender Rehabilitationsversorgungsstrukturen, enge Kooperation zwischen Akut- und Rehamedizin

Kreislauf-Unterstützung, Nierenersatz) ist eine Kernkompetenz der Intensivmedizin. Für den Bundesstaat Kalifornien wurden die Effekte von Hitzewellen auf die Zahl stationärer Aufnahmen zwischen Mai und Oktober für die Jahre 1999 und 2009 anhand statistischer Daten berechnet [26]. Als Hitzewelle wurde definiert, wenn die mittlere Tagestemperatur für 2 konsekutive Tage die zonen- und monatspezifische 95 %-Perzentile übertraf. Die stationäre Aufnahme von Patienten mit akutem

Nierenversagen, Appendizitis, Dehydratation, ischämischem Schlaganfall, psychischen Störungen und diabetogener Stoffwechsellage war während solcher Hitzewellen signifikant erhöht. Obwohl keine gesonderte Analyse für die Intensivmedizin durchgeführt wurde, ergeben sich logischerweise eine höhere Auslastung von Intensivbetten sowie eine erhöhte Inanspruchnahme von Personal und Technik. Der bereits zuvor erwähnte Hurrikan *Sandy* hatte nicht nur im *Tisch Hospital* (eine der

New-York-University-Kliniken) einen Gesamtstromausfall mit konsekutiver Evakuierung der Patienten zur Folge. Er induzierte gleichzeitig, dass zahlreiche Menschen wegen Unterkühlung, psychischem Schock oder Exazerbation chronischer Erkrankungen die Notaufnahmen anderer Kliniken aufsuchten [27].

Wie kann sich die Intensivmedizin vorbereiten? Herausforderungen und ihre möglichen Lösungsansätze sind in **Tab. 2** zusammengefasst. Sowohl für eine erhöhte kontinuierlich wirksame Inanspruchnahme von intensivmedizinischen Leistungen (Folgen des generellen Temperaturanstiegs) als auch für akute Massenbeanspruchung (z. B. Hitzewellen, Naturkatastrophen) sind spezifische Konzepte erforderlich, um adäquat reagieren zu können [28]. Darüber hinaus sind Implikationen sowohl für das präklinische Notfallversorgungssystem als auch für die poststationäre Rehabilitationsbehandlung (z. B. bei PTBS) zu erwarten. Obwohl bisher keine konkreten Kalkulationen zur Kostenerhöhung durch klimawandelassoziierte Erkrankungen im Bereich des Gesundheitswesens (oder spezifisch im Bereich der Intensivmedizin) durchgeführt wurden, ist unbestritten, dass solche Veränderungen als ein „Stresstest“ für zur Verfügung stehende Ressourcen im Bereich Gesundheit gelten werden [29]. Austin et al. [30] zeigten 2014 in einer Analyse, dass sowohl in hochindustrialisierten Ländern



als auch in „Middle-income“-Ländern der Zugang zur Intensivmedizin von Region zu Region extrem unterschiedlich sein kann. Dies erfordert Überlegungen bezüglich einer besseren Verteilung von Intensivkapazitäten. Zum skizzierten Komplex „Klimawandel und Intensivmedizin“ ist eine Initiative begrüßenswert, die Konzepte auf der Ebene von Fachgesellschaften erstellt. Des Weiteren werden dringend präzise epidemiologische Daten für Deutschland und Europa benötigt, um die Entwicklung der klimawandelassoziierten Erkrankungen und ihre medizinischen Konsequenzen besser abschätzen zu können. Auf dem Boden des Gesagten und aus einem gelebten ärztlichem Selbstverständnis ergibt sich, dass auch Mediziner sich in gebotenen Maß für die Abmilderung des Klimawandels einsetzen sollten. Auch und gerade im Bereich der Anästhesie und Intensivmedizin ergeben sich von der Reduktion der Verwendung schädlicher volatiler Anästhetika bis hin zu Strategien der Reduktion/Vermeidung von Abfall noch große Potenziale.

### Fazit für die Praxis

- Die Einflüsse von Klimawandel und Erderwärmung auf die Gesundheit des Menschen lassen erhebliche Konsequenzen für die Intensivmedizin erwarten.
- Spezifische Konzepte werden benötigt, um adäquat auf eine sich kontinuierlich erhöhende Inanspruchnahme intensivmedizinischer Leistungen aufgrund des generellen Temperaturanstiegs und eine akute Massenbeanspruchung z. B. bei Hitzewellen und Naturkatastrophen reagieren zu können.
- Für das präklinische Notfallversorgungssystem ergibt sich das Erfordernis der entsprechenden Ausbildung sowie Vorbereitung des Rettungspersonals und der Mitarbeiter in Notaufnahmen; diesbezügliche Strukturen müssen bereitgestellt werden.
- Auch für die poststationäre Rehabilitationsbehandlung wird ein Ausbau der Rehabilitationsversorgungsstrukturen notwendig. Wünschenswert ist

die enge Kooperation zwischen Akut- und Rehamedizin.

- Mediziner selbst sollten sich in gebotenen Maß für die Abmilderung des Klimawandels einsetzen. Auch und gerade im Bereich der Anästhesie und Intensivmedizin finden sich große Potenziale, die von der Reduktion der Verwendung schädlicher volatiler Anästhetika bis hin zu Strategien der Reduktion/Vermeidung von Abfall reichen.

### Korrespondenzadresse

**Prof. Dr. T. Bein, M.A.**

Fakultät für Medizin, Universität Regensburg  
93042 Regensburg, Deutschland  
thomas.bein@ukr.de

### Einhaltung ethischer Richtlinien

**Interessenkonflikt.** T. Bein, C. Karagiannidis, M. Gründling und M. Quintel geben an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Für diesen Beitrag wurden von den Autoren keine Studien an Menschen oder Tieren durchgeführt. Für die aufgeführten Studien gelten die jeweils dort angegebenen ethischen Richtlinien.

### Literatur

1. IPCC (2014) Summary for policymakers. In: Edenhofer O, Pichs-Madruga R, Sokona Y, Farahani E, Kadner S, Seyboth K, Adler A, Baum I, Brunner S, Eickemeier P, Kriemann B, Savolainen J, Schlömer S, von Stechow C, Zwickel T, Minx JC (Hrsg) Climate change 2014: mitigation of climate change. Cambridge University Press, Cambridge, New York (Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change)
2. WHO Climate change. [https://www.who.int/health-topics/climate-change#tab=tab\\_1](https://www.who.int/health-topics/climate-change#tab=tab_1). Zugegriffen: 30. Sept. 2019
3. Shuman EK (2011) Global climate change and infectious diseases. *Int J Occup Environ Med* 2:11–19
4. Bernstein AS, Rice MB (2013) Lungs in a warming world: climate change and respiratory health. *Chest* 143:1455–1459
5. Hayes D Jr, Collins PB, Khosravi M, Lin RL, Lee LY (2012) Bronchoconstriction triggered by breathing hot humid air in patients with asthma: role of cholinergic reflex. *Am J Respir Crit Care Med* 185:1190–1196
6. Monteiro A, Carvalho V, Oliveira T, Sousa C (2012) Excess mortality and morbidity during the July 2006 heat wave in Porto, Portugal. *Int J Biometeorol* 57:155–167
7. Lin S, Luo M, Walker RJ, Liu X, Hwang SA, Chinery R (2009) Extreme high temperatures and hospital admissions for respiratory and cardiovascular diseases. *Epidemiology* 20:738–746

8. Rossati A (2017) Global warming and its health impact. *Int J Occup Environ Med* 8:7–20
9. Doherty RM, Heal MR, O'Connor FM (2017) Climate change impacts on human health over Europe through its effect on air quality. *Environ Health* 16(Suppl 1):118
10. Rice MB, Thurston GD, Balmes JR, Pinkerton KE (2014) Climate change. A global threat to cardiopulmonary health. *Am J Respir Crit Care Med* 189:512–519
11. Bayram H, Bauer AK, Abdalati W, Carlsten C, Pinkerton KE, Thurston GD, Balmes JR, Takaro TK (2017) Environment, global climate change, and cardiopulmonary health. *Am J Respir Crit Care Med* 195:718–724
12. Chen K, Breitner S, Wolf K, Rai M, Meisinger C, Heier M, Kuch B, Peters A, Schneider A (2019) Projection of temperature-related myocardial infarction in Augsburg, Germany. *Dtsch Arztebl Int* 116(31–32):521–527
13. D'ippoliti D, Michelozzi P, Marino C, de'Donato F, Menne B, Katsouyanni K, Kirchmayer U, Analitis A, Medina-Ramón M, Paldy A, Atkinson R, Kovats S, Bisanti L, Schneider A, Lefranc A, Iñiguez C, Perucci CA (2010) The impact of heat waves on mortality in 9 European cities: results from the EuroHEAT project. *Environ Health* 9:37
14. Glaser J, Lemery J, Rajagopalan B, Diaz HF, García-Trabanino R, Taduri G, Madero M, Amarasinghe M, Abraham G, Anutrakulchai S, Jha V, Stenvinkel P, Roncal-Jimenez C, Lanaspá MA, Correa-Rotter R, Sheikh-Hamad D, Burdmann EA, Andres-Hernando A, Milagres T, Weiss I, Kanbay M, Wesseling C, Sánchez-Lozada LG, Johnson RJ (2016) Climate change and the emergent epidemic of CKD from heat stress in rural communities: the case for heat stress nephropathy. *Clin J Am Soc Nephrol* 11:1472–1483
15. Correa-Rotter R, Wesseling C, Johnson RJ (2014) CKD of unknown origin in Central America: the case for a Mesoamerican nephropathy. *Am J Kidney Dis* 63:506–520
16. Sorensen C, Garcia-Trabanino R (2019) A new era of climate medicine—Addressing heat-triggered renal disease. *N Engl J Med* 381:693–696
17. <https://www.spiegel.de>. Zugegriffen: 27. Sept. 2019
18. Ogden NH, Gachon P (2019) Climate change and infectious diseases: What can we expect? *Can Commun Dis Rep* 45:76–80
19. Nelder MP, Wijayasri S, Russell CB, Johnson KO, Marchand-Austin A, Cronin K, Johnson S, Badiani T, Patel SN, Sider D (2018) The continued rise of Lyme disease in Ontario, Canada: 2017. *Can Commun Dis Rep* 44:231–236
20. Bier N, Jäckel C, Dieckmann R et al (2015) Virulence profiles of *Vibrio vulnificus* in German coastal waters, a comparison of North Sea and Baltic Sea isolates. *Int J Environ Res Public Health* 12:15943–15959
21. Guidet B, Gerlach H, Rhodes A (2016) Migrant crisis in Europe: implications for intensive care specialists. *Intensive Care Med* 42:249–251
22. Kovats RS, Edwards SJ, Hajat S, Armstrong BG, Ebi KL, Menne B (2004) The effect of temperature on food poisoning: a time-series analysis of salmonellosis in ten European countries. *Epidemiol Infect* 132:443–453
23. Semenza JC, Menne B (2009) Climate change and infectious diseases in Europe. *Lancet Infect Dis* 9:365–375
24. Rataj E, Kunzweiler K, Garthus-Niegel S (2016) Extreme weather events in developing countries and related injuries and mental health disor-

- ders—A systematic review. *BMC Public Health* 16:1020
25. Schwartz RM, Gillezeau CN, Liu B, Lieberman-Cribbin W, Taioli E (2017) Longitudinal impact of hurricane Sandy exposure on mental health symptoms. *Int J Environ Res Public Health* 14(9):957
  26. Sherbakov T, Malig B, Guirguis K, Gershunov A, Basu R (2018) Ambient temperature and added heat wave effects on hospitalizations in California from 1999 to 2009. *Environ Res* 160:83–90
  27. Rom WN, Evans L, Uppal A (2013) The sentinel event of climate change: Hurricane Sandy and its consequences for pulmonary and critical care medicine. *Am J Respir Crit Care Med* 187:iii–iv
  28. Salas RN, Malina D, Solomon CG (2019) Prioritizing health in a changing climate. *N Engl J Med* 381:773–774
  29. Salas RN, Jha AK (2019) Climate change threatens the achievement of effective universal healthcare. *BMJ* 366:l5302
  30. Austin S, Murthy S, Wunsch H, Adhikari NK, Karir V, Rowan K, Jacob ST, Salluh J, Bozza FA, Du B, An Y, Lee B, Wu F, Nguyen YL, Oppong C, Venkataraman R, Velayutham V, Dueñas C, Angus DC (2014) International Forum of Acute Care Trialists. Access to urban acute care services in high- vs. middle-income countries: an analysis of seven cities. *Intensive Care Med* 40:342–352

Anaesthesist 2020 · 69:469

<https://doi.org/10.1007/s00101-020-00815-5>

Online publiziert: 3. Juli 2020

© Springer Medizin Verlag GmbH, ein Teil von Springer Nature 2020



**Redaktion „Der Anaesthesist“**

Springer Medizin Verlag, Heidelberg, Deutschland

## Erratum zu: Neue Herausforderungen für die Anästhesie durch den Klimawandel

**Erratum zu:**

**Anaesthesist 2020**

<https://doi.org/10.1007/s00101-020-00770-1>

Der Verlag macht drauf aufmerksam, dass zunächst eine fehlerhafte Version dieses Beitrags veröffentlicht wurde. Diese wurde nun berichtigt. Der Verlag bittet die Autorinnen und Sie, verehrte Leserinnen und Leser, um Entschuldigung. Bitte berücksichtigen Sie zukünftig nur noch die korrigierte Version, die ab dem 01. Juli verfügbar ist.

---

### Korrespondenzadresse

---

**Redaktion „Der Anaesthesist“**

Springer Medizin Verlag  
Heidelberg, Deutschland  
[ines.wolff@springer.com](mailto:ines.wolff@springer.com)

---

Die Online-Version des Originalartikels ist unter <https://doi.org/10.1007/s00101-020-00770-1> zu finden.